

АҢДАТПА

8D07101 - «Машина жасау» білім беру бағдарламасы бойынша
8D071 - «Инженерия және инженерия» мамандығы бойынша
философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін диссертациялар.

МУХИТОВА АДЕЛИЯ ЕРЖАНҚЫЗЫ

ТЕХНОЛОГИЯЛЫҚ ӘДІСТЕРДІ ЖЕТІЛДІРУ ҚАЛПЫНА КЕЛТІРУ КЕЗІНДЕ ЭЛЕКТР ҚОЗҒАЛТҚЫШ БІЛІКТЕРІНІҢ САПАСЫН ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ

Диссертациялық жұмыстың өзектілігі. 8D07101 - «Машина жасау» білім беру бағдарламасы бойынша 8D071 - «Инженерия және инженерия» мамандығы бойынша философия докторы (PhD) дәрежесін алу үшін диссертация жазылды.

Қазақстан Республикасындағы өнеркәсіптік дамудың қазіргі жағдайында, өнеркәсіпті жаңғыртуға және ресурстарды үнемдеуге баса назар аударумен сипатталатындықтан, машинаның маңызды компоненттерінің функционалдығын қалпына келтіру мәселесі стратегиялық маңызға ие. Машина жасау мен энергетика саласында электр қозғалтқыштары электр энергиясын механикалық энергияға түрлендіретін негізгі қуат блоктары болып табылады. Өнеркәсіптік жабдықтардың тұрақты жұмысы көбінесе оның негізгі компоненттерінің сенімділігіне байланысты, олардың арасында білік орталық орын алады.

Электр қозғалтқышының білігі - айналу моментін беретін және бұралу, иілу және діріл сияқты күрделі циклдік жүктемелерге төтеп беретін маңызды компонент. Электр қозғалтқышының біліктері, электр жетектерінің ең ауыр жүктемелі компоненттері болып табылады, жөндеу циклін және өндіріс желілерінің жалпы сенімділігін анықтайды. Статистикалық талдау қалпына келтірілген біліктердің істен шығуының негізгі себебі тозу аймағында материалдың жетіспеушілігі емес, жылу әсер ететін аймақтағы және дәнекерлеу шөгіндісіндегі металдың физикалық және механикалық қасиеттерінің сапалық өзгеруі екенін көрсетеді.

Пайдалану талдауы шахталардың тозу және шаршау зақымының жиналуының жоғарылауы жағдайында, әсіресе кілт ойықтары, филе және мойынтірек орындықтары сияқты кернеу шоғырландырушы аймақтарда жұмыс істейтінін көрсетеді. Қарағанды облысы сияқты өнеркәсіптік аймақта тек ірі жөндеу мекемелерінде шахталарды жөндеудің жылдық көлемі орта есеппен шамамен 200 бірлікті құрайды. Бұл мәселенің кең таралған сипатын және тиімді жөндеу технологияларына деген жоғары сұранысты растайды.

Біліктерді дәнекерлеу бетімен жөндеу ресурстарды үнемдеу тұрғысынан ең тиімді әдіс болып табылады. Экономикалық талдау көрсеткендей,

жаңартылған біліктің құны жаңа бөлшекке қарағанда шамамен 75%-ға төмен. Дегенмен, бұл экономикалық артықшылыққа қарамастан, күрделі техникалық қиындық бар: жаңартылған біліктің қызмет ету мерзімі, орта есеппен, жаңа бөлшектердің қызмет ету мерзімінің екі есесіне тең. Бұл дәнекерлеу бетін жапқаннан кейін материалда айтарлықтай қалдық кернеулердің пайда болуына және құрылымдық гетерогенділікке байланысты.

Білікті қалпына келтіру бойынша кең ауқымды зерттеулер жүргізілгенімен, қалпына келтірілген беттің сапасын және қалпына келтірілген біліктердің беріктігін қамтамасыз ету стратегиялық маңызға ие. Қазақстанның ресурстарды үнемдеуге және жөндеу технологияларының сенімділігіне берілгендігін ескере отырып, қалпына келтіру кезінде электр қозғалтқыш біліктерінің технологиялық сапасын қамтамасыз ету әдістерін жетілдіру өзекті мәселе болып табылады.

Зерттеу гипотезасы Электр қозғалтқыш біліктерін қалпына келтіру кезінде қолданылатын қабат сапасының негізгі көрсеткіштерімен беткі қабатты жабу және термиялық өңдеу процестерінің технологиялық параметрлері арасындағы байланыс пен тұрақтылық туралы болжам бар, оларды басқару қалпына келтірілген біліктердің шаршау мерзімін айтарлықтай арттырады.

Жұмыстың мақсаты: технологиялық сапаны қамтамасыз ету әдістерін жетілдіру арқылы қалпына келтірілген электр қозғалтқыш біліктерінің беріктігін арттыру.

Мақсатқа жету үшін келесі міндеттер шешілді:

1. электр қозғалтқыштарының қалпына келтірілген біліктерінің сапасын қамтамасыз ету мәселелерінің жай-күйі және оларды қалпына келтірудің қолданыстағы технологияларын талдау зерттелді;

2. тұндырылған қабаттың қаттылығы, тозуға төзімділігі және қалдық кернеулері әртүрлі легирленген беттік материалдарды қолдана отырып, әртүрлі беттік және термиялық өңдеу жағдайларында тәжірибе жүзінде зерттелді;

3. бетін жабудан және термиялық өңдеуден кейінгі біліктің беріктігі модельденді;

4. бетін жапқаннан кейін электр қозғалтқышының біліктерін орталықтандыруға арналған құрылғы жасалды;

5. ұсынылған технология мен әзірленген құрылғының техникалық және экономикалық тиімділігі бағаланды.

Зерттеу әдістері.

Жұмыста кешенді тәсіл қолданылады, оған мыналар кіреді:

1. Шөгінді қабаттың қаттылығына процесс жағдайларының әсерін анықтау үшін көп факторлы эксперименттік жобаларды пайдалану. Виккерс қаттылығын өлшеу және микроқұрылымның металлографиялық зерттеулері;

2. шөгінді қабаттың қасиеттерін сипаттау және функциялардың экстремумдарын іздеу арқылы оларды оңтайландыру үшін регрессиялық

теңдеулерді (сызықтық, квадраттық, кубтық) құру үшін математикалық модельдеуді пайдалану;

3. ANSYS Workbench және nCode DesignLife бағдарламалық пакеттерінде шекті элементтер әдісін қолдана отырып, кернеу-деформация күйін компьютерлік модельдеу және циклдік беріктікті есептеу (SN әдісі);

4. Autodesk Inventor ортасында құрылғылардың базалық схемаларын және 3D визуализациясын әзірлеудегі жобалау инженериясы.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы келесідей:

1. Арнайы беткі материалдар (Sv08G2S, 30KhGSA, OK Tubrodur 35 GM) үшін тұндырылған қабаттың қаттылығының сым беру жылдамдығына тәуелділігі алынды;

2. Индукциялық қыздыру әсерінен қалдық кернеулердің индуктордың қозғалыс жылдамдығына және қуат көзінің жиілігіне тәуелділігі алынды;

3. Біліктің бетін жабудан және термиялық өңдеуден кейінгі кернеу-деформация күйі ANSYS бағдарламасында оның циклдік беріктігі бағалана отырып модельденді;

4. Өздігінен тураланатын кронштейндер мен роликті тіректерді пайдалана отырып, бөлшектерді нақты геометриялық ось бойымен автоматты түрде орталықтандырудың ғылыми негізі жасалды, бұл туралау қателерін азайтады.

Қорғауға ұсынылған ғылыми ережелер:

1. электр қозғалтқыш біліктерін беткі қабатпен қалпына келтіру технологиясы;

2. қаттылық пен тозуға төзімділікті бағалаудың, микроқұрылымның біртектілігінің және тұндырылған қабаттағы қалдық кернеулерді зерттеудің эксперименттік зерттеу нәтижелері;

3. шөгінді бетінің қаттылығын бағалау теңдеуі;

4. шөгінді қабаттағы қалдық кернеулерді бағалау теңдеуі;

5. ANSYS жүйесінде шаршау өмірін модельдеу;

6. білікті орталықтандыруға арналған өздігінен тураланатын кронштейндері бар әмбебап өздігінен орталықтандыратын құрылғыны әзірлеуге арналған техникалық сипаттамалар.

Автор қорғайды:

1. Термиялық өңдеуден кейінгі қаттылықты, шөгінді қабаттың тозуға төзімділігін және қалдық кернеулерді бағалаудың эксперименттік зерттеу нәтижелері.

2. Тұндырылған беттің қаттылығын бағалау теңдеуі.

3. Беттік өңдеуден және жылумен өңдеуден кейінгі қалдық беттік кернеулерді бағалау теңдеуі.

4. Ansys бағдарламалық пакетін пайдаланып, бетін жабудан және термиялық өңдеуден кейін біліктің беріктігін модельдеу нәтижелері.

5. Беттеуден кейін білікті орталықтандырудың жаңа дизайнын әзірлеуге арналған техникалық сипаттамалар.

Зерттеу нысаны: электр қозғалтқыш біліктерін беттеу, термиялық өңдеу және орталықтандыру процестері.

Зерттеу тақырыбы: қалпына келтірілген қабат сапасының негізгі сандық көрсеткіштерімен бетті жабу мен термиялық өңдеудің технологиялық параметрлері арасындағы байланыстар мен заңдылықтар.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы мынада:

1. жөндеу технологиясын жобалау кезеңінде бөлшектің қызмет ету мерзімін болжауға мүмкіндік беретін ANSYS бағдарламасындағы біліктің беріктігін инженерлік есептеу әдісі;

2. стандартты орталық тесіктер болмаған кезде де қажетті өңдеу дәлдігін қамтамасыз ететін, бетін жапқаннан кейін білікті орталықтандыруға арналған құрылғыны әзірлеу;

3. жөндеу компаниялары үшін білікті қалпына келтірудің оңтайлы беткі қабатын және термиялық өңдеу режимдерін белгілеуде, бұл жұмыс құнын 75%-ға төмендетуге мүмкіндік береді, сонымен бірге беткі қабаттың сапасын жақсартады.

Зерттеу нәтижелері «KAZTECHPRO» ЖШС (Қарағанды) өндірісіне енгізілді.

Қысқаша мазмұны.

Бірінші тарауда зерттеу мәселесінің қазіргі жағдайы талданады және электр қозғалтқыш біліктерінің беткі қабатпен жөндеуге болатын негізгі ақаулары анықталады. Электр қозғалтқыш біліктерін беткі қабатпен қалпына келтірудің қолданыстағы әдістеріне шолу жасалған.

Екінші тарауда электр қозғалтқыш біліктерін беттеу үшін жартылай автоматтандырылған әдіс пен режимдердің эксперименттік зерттеулерінің әдіснамасы мен нәтижелері ұсынылған. Қаттылық пен тозуға төзімділік, сондай-ақ тұндырылған қабаттың микроқұрылымының біртектілігі, сондай-ақ дұрыс таңдалған термиялық өңдеу кезінде тұндырылған қабаттағы қалдық кернеулердің төмендеуі зерттелген. Тұндырылған қабат қаттылығының беткі қабат жағдайларына (сым беру жылдамдығы) тәуелділігін көрсететін математикалық модель жасалған. Сондай-ақ қалдық кернеулердің жылу өңдеу параметрлеріне (қуат көзінің жиілігі) тәуелділігін көрсететін математикалық модель жасалған.

Үшінші тарауда қалпына келтірілген біліктің бетін жабудан және термиялық өңдеуден кейінгі циклдік қызмет ету мерзімін модельдеу моделі ұсынылған. ANSYS бағдарламалық жасақтамасын пайдаланып, қалпына келтірілген бөліктегі қалдық кернеулер мен деформациялардың таралуы талданды. Модельдеу негізінде қалпына келтірілген біліктің циклдік қызмет ету мерзімі бағаланды және оның қызмет ету мерзімін 30%-ға арттыратын оңтайлы жағдайлар анықталды.

Төртінші тарауда бетін жапқаннан кейін қалпына келтірілген біліктерді

орталықтандыруға арналған әмбебап өздігінен орталықтандыратын бекіткіш жасалған. Бекіткіштің дизайны мен 3D визуализациясы Autodesk Inventor бағдарламасында аяқталды. Тозу деңгейіне және тұндырылған қабат сипаттамаларына қарамастан, бөлшекті нақты геометриялық осі бойымен автоматты түрде орталықтандыру механизмі жасалды. Құрылымдық элементтерді есептеу және әзірленген құрылғының өнімділігін талдау жүргізілді. Бекіткішті пайдалану білікті туралау дәлдігін жақсартатыны және қалпына келтіруден кейін өңдеу операцияларының еңбек сыйымдылығын төмендететіні анықталды.

5-тарауда электр қозғалтқыш біліктерін жаңартудың әзірленген технологиясының техникалық және экономикалық бағасы берілген. Білікті жөндеу шығындары есептеледі, жаңартылған біліктің құны анықталады және жаңа бөлшекті сатып алу құнымен салыстырылады. Әзірленген технологиялық шешімдерді енгізудің экономикалық әсері мен өтелу мерзімі бағаланады. Рационалды беттеу және индукциялық термиялық өңдеу режимдерін қолдану бойынша практикалық ұсыныстар, сондай-ақ жөндеу мекемелерінде өздігінен орталықтандырылатын бекіткішті пайдалану бойынша ұсыныстар әзірленген. Нәтижелер электр қозғалтқыш біліктерін жаңартудың ұсынылған технологиясының тиімділігін және оны өндірістік тәжірибеде енгізудің орындылығын растайды.

Қалпына келтірілген электр қозғалтқыш біліктерінің беткі қабат режимдерін және жоғары жиілікті индукциялық термиялық өңдеуді таңдау, олардың беріктігін бағалау әдісі және қалпына келтіргеннен кейін механикалық өңдеудің дәлдігін қамтамасыз ету үшін өзін-өзі орталықтандыратын құрылғыны пайдалану бойынша ұсыныстар әзірленді.

Диссертацияға үміткердің жеке үлесі. Автор бұл жұмысты жеке өзі аяқтады, белгілі білікті туралау құрылғыларының патенттік талдауын, дәнекерлеу теориясы мен машинаны жөндеу, белгілі бір механикалық қасиеттерді беру үшін беттеу технологиясы және кейінгі өңдеу ерекшеліктері саласындағы теориялық зерттеулерге шолу жасады. Тапсырма анықталды және зерттеу әдістемесі әзірленді, электр қозғалтқышының біліктерін орталықтандыруға арналған әмбебап өзіндік орталықтандыру құрылғысы жобаланды және модельденді, беттеу мен термиялық өңдеудің оңтайлы процестері анықталды, сондай-ақ тұндырылған қабаттың қаттылығы мен тозуға төзімділігін, микроқұрылымның біртектілігін және қалдық кернеулердің төмендеуін анықтау үшін эксперименттік зерттеулер жүргізілді.

Жұмысты жариялау және сынақтан өткізу. Диссертацияның негізгі ережелері орыс және қазақ тілдерінде 10 ғылыми мақалада жарияланды, оның ішінде: Scopus журналында 1 мақала, пайыздық көрсеткіші кемінде 25 (Қолданбалы инженерия ғылымы журналы (43%), 3 мақала Қазақстан Республикасы Білім және ғылым саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған басылымдарда. Зерттеу нәтижелері халықаралық ғылыми

конференцияларда баяндалды және талқыланды: «XVI Сағынов оқулары. Білім беру, ғылым және өндіріс интеграциясы» халықаралық практикалық конференциясы, 2024 жылғы 13-14 маусым, «XVI Сағынов оқулары. Білім беру, ғылым және өндіріс интеграциясы» халықаралық практикалық конференциясы, 2025 жылғы 26-27 маусым, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті» ҰАО-ның «Машина жасау саласын дамыту және жаңа формациядағы жоғары білікті кадрларды даярлау» халықаралық практикалық конференциясы, 2025 жылғы 30-31 мамыр. Пайдалы модельге Қазақстан Республикасының бір патенті және авторлық құқықты мемлекеттік тіркеу туралы екі куәлік алынды. Барлық басылымдарда электр қозғалтқыш білігін қалпына келтіру процестерінің теориялық және эксперименттік зерттеулерінің материалдары мен нәтижелері ұсынылған.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертация 168 бетте машинамен басылған мәтінде ұсынылған, кіріспеден, 5 бөлімнен және қорытындыдан тұрады, 79 суреттен, 32 кестеден, 90 атаудан алынған әдебиеттер тізімінен және 7 қосымшадан тұрады.

Зерттеу нәтижелері және негізгі қорытындылар.

Диссертацияда электр қозғалтқыш біліктерін қалпына келтіру кезінде олардың технологиялық сапасын қамтамасыз ету әдістерін жетілдіру үшін маңызды болып табылатын жаңа ғылыми негізделген теориялық және эксперименттік қорытындылар ұсынылған.

Осы диссертациялық зерттеу барысында қалпына келтірілген электр қозғалтқыш біліктерінің беріктігін арттыруға бағытталған маңызды ғылыми-техникалық мәселе шешілді және келесі қорытындылар алынды:

1. Зерттеу нәтижесінде беткі қабатты қалпына келтірудің және термиялық өңдеудің технологиялық факторлары мен беткі қабаттың физикалық және механикалық қасиеттері арасындағы байланыс туралы гипотеза расталды, бұл біліктердің пайдалану сипаттамаларын мақсатты түрде қалыптастыруға, олардың беріктігін арттыруға мүмкіндік береді;

2. Sv08G2S, 30KhGSA және ОК Tubrodur 35 GM материалдары үшін сым беру жылдамдығынан тұндырылған қабаттың қаттылығын анықтауға арналған эмпирикалық регрессия теңдеулері алынды:

- SV08G2S: $y = -45.1232x^3 + 400.2165x^2 - 1099.2045x + 1147.4487$;

- ОК Tubrodur 35GM: $y = 33,8424x^3 - 311,0147x^2 + 1000,4974x - 707,5193$;

- 30ХГСА: $y = -11,4747x^3 + 87,7887x^2 - 152,4326x + 314,0658$.

3. Қажетті қаттылық мәндерін қамтамасыз ету үшін оңтайлы беткі қабат режимдері белгіленді Sv08G2S – 180 – 220 HV; ОК Tubrodur 35 GM – 320 – 400 HV; 30ХГСА – 280 – 360 HV:

- V = 2,75 м/мин, I = 128 А, U = 20,4 В (SV08G2S сымы);

- V = 3,0 м/мин, I = 9 А, U = 19,5 В (ОК Tubrodur 35GM сымы);

- V = 2,75 м/мин, I = 96 А, U = 19,5 В (30KhGSA сымы);

4. Сыналған легірленген сымдар арасында ОК Tubrodur 35GM сымы ең тиімді материал екені анықталды, себебі ол ұсақ дисперсті ине тәрізді құрылымға және минималды үйкеліс коэффициентіне ие ($f = 0,44$);

5. Индукциялық қыздыру (ИҚ) параметрлерінің қалдық кернеулер деңгейіне әсері анықталды. Осьтік деформациялар мен қалдық кернеулердің минималды болуын қамтамасыз ету үшін оңтайлы термиялық өңдеу жағдайлары (индуктор жылдамдығы $V = 5-6$ м/с $f = 60$ кГц ток жиілігінде) анықталды;

6. ANSYS және nCode DesignLife бағдарламалық пакетін пайдаланып, бетін жабудан және термиялық өңдеуден кейін біліктің кернеу-деформация күйін модельдеу жүргізілді;

7. Беткі қабатты төсегеннен кейін жоғары жиілікті термиялық өңдеуді қолдану максималды эквивалентті кернеулерді екі еседен астамға азайтатыны дәлелденген. Шаршау мерзімі 12 238 циклден 15 777 циклге дейін артады;

8. Өздігінен орталықтандыратын құрылғы жөнделіп жатқан біліктің геометриялық осін автоматты түрде анықтауға және жазуға арналған. Бұл техникалық шешім жөндеу операцияларынан кейін бөлшектің орталық сызығын табумен байланысты қателіктерді жояды.

9. Ұсынылған беткі қабатты жабу және термиялық өңдеу технологиясын енгізу жылына 200 шахтаны қалпына келтіру бағдарламасымен 15 миллион теңгеден астам жылдық кіріс әкеледі. Процестің өтелу мерзімі 0,34 жылды құрайды;

10. Электр қозғалтқыштарының дәнекерленген біліктерін бетін жабу және термиялық өңдеу бойынша ұсыныстар, сондай-ақ біліктерді орталықтандыруға арналған өздігінен тураланатын кронштейндері бар әмбебап өздігінен орталықтандыратын құрылғыны дайындауға арналған техникалық сипаттамалар әзірленді;

11. Зерттеу нәтижелері HANSA-FLEX Gydravlik Almaty ЖШС және Qaztechpro ЖШС өндірістік процесіне енгізілді.

АЛҒЫС БІЛДІРУ

Автор диссертацияның барлық кезеңдерінде көрсеткен көмегі, құнды кеңестері мен пікірлері, сондай-ақ докторантурада оқудың барлық кезеңінде қолдау көрсеткені үшін ғылыми кеңесші, PhD докторы, Технологиялық жабдықтар, машина жасау және стандарттау кафедрасының профессоры О.М. Жаркевичке терең ризашылығын білдіреді.

Автор техника ғылымдарының докторы, кафедра профессорына алғысын білдіреді «Көлік жабдықтары және логистикалық жүйелер» ғылыми бағытты таңдауға көмегі, құнды ұсыныстары мен ғылыми қолдауы үшін Қадыров А.С.-ке, техника ғылымдарының докторы, ҚазАТУ-дың технологиялық машиналар мен жабдықтар кафедрасының профессоры,

Халықаралық механикалық инженерлер одағының мүшесі, техника ғылымдарының докторы Шеров Қ.Т., философия ғылымдарының докторы, Технологиялық жабдықтар, машина жасау және стандарттау кафедрасының меңгерушісі Мусаев М.М., философия ғылымдарының докторы, доцент Юрченко В.В.-ге.

Автор шетелдік ғылыми кеңесші, PhD докторы, Вильнюс Гедиминас техникалық университетінің профессоры Олегас Чернасеюске шетелдік ғылыми тағылымдаманы ұйымдастырғаны және аяқтауға көмектескені, сондай-ақ эксперименттік зерттеулер жүргізуге көмектескені үшін алғыс білдіреді.

Автор «Технологиялық жабдықтар, машина жасау және стандарттау» кафедрасындағы әріптестеріне, аға оқытушы А.К. Матешов пен PhD доценті О.А. Нұржановаға аналитикалық зерттеулерді ұйымдастыру мен жүргізуге, сондай-ақ жұмыс барысында әдістемелік көмек көрсеткені үшін алғыс білдіреді. Сондай-ақ, ол тәжірибелер үшін дәнекерлеу зертханасын ұсынғаны үшін инженерлік ғылымдардың кандидаты, доцент И.А. Бартеневке алғыс білдіреді. Автор жұмысты аяқтауға және пішімдеуге көмектескені үшін механика кафедрасының PhD аға оқытушысы Б.С. Доненбаев пен ақпараттық технологиялар факультетінің деканы А.А. Калининге алғыс білдіреді.

Автор диссертациямен жұмыс істеуге көмектескені, берілген ақпараттық материалдары және зерттеу тақырыбы бойынша кеңес беруге жұмсаған уақыты үшін №3 өндірістің (Энергозавод) жобалау және технология бөлімінің бастығы И.В. Щетинниковке және «Құрылысмет №1» РГТО «Құрылысмет» ЖШС бас дизайнері С.В. Шляховқа алғысын білдіреді және терең ризашылығын білдіреді.

Автор докторлық диссертацияның зерттеуін өндіріске енгізгені үшін «Казтехпро» ЖШС қызмет көрсету орталығының директоры В.Н. Кимге және докторлық диссертацияның зерттеуін өндіріске енгізгені үшін «KF Ganza-Flex Hydraulic Almaty» ЖШС гидротехникі Д.А. Ашимбаевқа алғысын білдіреді және терең ризашылығын білдіреді.